

ZASTOSOWANIE METODY CBR DO SZACOWANIA KOSZTÓW WYTWARZANIA W FAZIE PROJEKTOWANIA

prof. dr hab. inż. Ryszard Knosala
r.knosala@po.opole.pl
mgr inż. Barbara Barnus
b.barnus@po.opole.pl
Politechnika Opolska
Wydział Zarządzania i Inżynierii Produkcji
Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów

Streszczenie

W artykule zaprezentowany został zarys metodologii technicznego przygotowania produkcji. Przedstawiona została metoda Case Based Reasoning w procesie szacowania kosztów wytwarzania w fazie projektowania. Omówiona została metoda oraz opracowana na jej podstawie aplikacja. Dokonana została analiza otrzymanych wyników oraz ocena przydatności metody w szacowaniu kosztów wytwarzania.

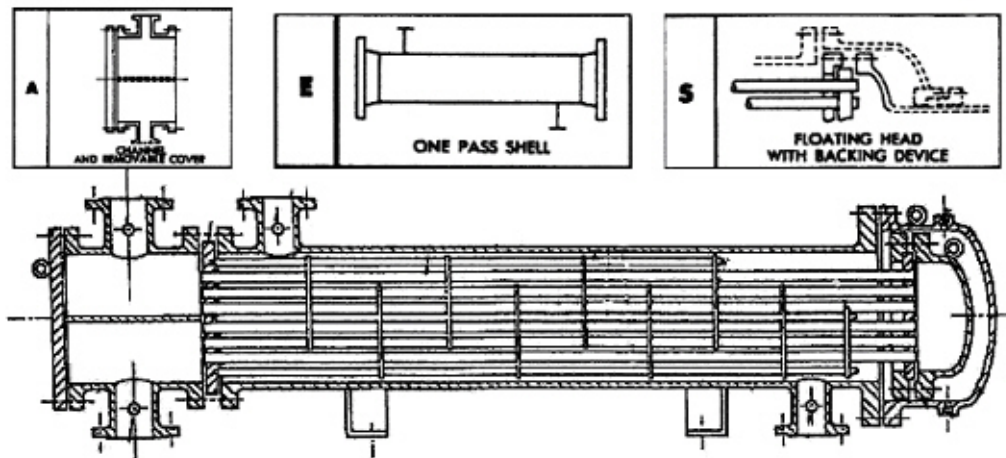
1. Wprowadzenie

Aby zapewnić najniższe koszty wytwarzania niezbędna jest możliwość szybkiego szacowania i analizy kosztów w całym procesie projektowania wyrobu. Aby umożliwić szacowanie kosztów w różnych fazach projektowania wyrobów opracowana została metodologia wspomagające techniczne przygotowanie produkcji zorientowane na minimalizację kosztów wytwarzania. Metodologia ta zakłada analizę i minimalizację kosztów wytwarzania od samego początku procesu projektowania, czyli już w fazie koncepcyjnego przygotowania projektu. Proponowana metodologia umożliwia przeprowadzenie szacowania kosztów w fazie KPP z zastosowaniem dwóch metod. Pierwsza z nich to parametryczne szacowanie kosztów polegające na utworzeniu funkcji matematycznej zawierającej charakterystyczne dla wyrobu parametry (metoda szerzej opisana w [2]). Druga metoda szacowania kosztów na etapie projektu koncepcyjnego zakłada wykorzystanie podejścia CBR - Case Based Reasoning (podejście oparte na analizie przypadku).

W przedstawionej metodologii możliwy jest wybór metody szacowania kosztów wytwarzania w zależności od specyfiki problemu oraz od zakresu posiadanych informacji. W rezultacie zastosowania takiego podejścia na etapie projektu koncepcyjnego oszacowane zostają przewidywane koszty wytwarzania poszczególnych wariantów koncepcji. Wybrany zostaje wariant najbardziej optymalny ze względu na koszty wytwarzania. Dzięki analizie i szacowaniu kosztów projektów koncepcyjnych, możliwe jest zarówno sformułowanie odpowiedzi ofertowej, jak i dalsze rozwijanie oraz kosztowe optymalizowanie wybranego wariantu koncepcji. Metodologia TPP obejmuje również szacowanie kosztów w fazie technologicznego przygotowania produkcji. Jeśli projekt szczegółowy został już opracowany, dostępne są już wszelkie szczegółowe informacje z nim związane. Możliwe wówczas jest szacowanie kosztów wytwarzania, charakteryzujące się wyższym stopniem dokładności otrzymanych wyników. Do szacowania kosztów w tej fazie zastosowano metodę analityczną (metoda szerzej omówiona w pracach [1, 2]).

Opracowane metody szacowania kosztów zweryfikowane zostały na przykładzie płaszczowo-rurowych wymienników ciepła na podstawie danych z przedsiębiorstwa wytwarzającego te wyroby (przykładowy wyrób na rys.1). Dane kosztowe na prośbę

firmy zostały zmodyfikowane z zachowaniem odpowiednich proporcji i relacji między nimi.



Rys. 1. Przykładowy projekt płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła

2. Metoda CBR w szacowaniu kosztów wytwarzania

Metoda Case Based Reasoning (CBR) bazuje na klasycznej definicji, że myślący człowiek rozwiązuje problemy przez adaptację rozwiązań problemów z przeszłości.

CBR jest metodą wspomaganą projektowania, która stara się rozwiązać nowy problem przy użyciu wiedzy pochodzącej z rozwiązywania podobnych przypadków w przeszłości [3].

Algorytm CBR obejmuje cykl czterech kroków [3]:

1. Odzyskanie (ang. retrieve) z bazy podobnych do opisanego problemu przypadków.
2. Ponowne użycie (ang. reuse) sugerowanego rozwiązania podobnego przypadku.
3. Skorygowanie i dopasowanie (ang. revise) rozwiązania do nowego problemu, jeśli to konieczne.
4. Zachowanie (ang. retain) nowego rozwiązania, jeśli było ono zatwierdzone i uzasadnione.

Pierwszym krokiem w szacowaniu kosztów wytwarzania nowego produktu przy użyciu metody CBR jest zdefiniowanie nowego problemu. Dla porównywania projektów wybranych zostało trzynaście parametrów, które następnie zbadano pod względem korelacji z kosztem wytwarzania. Ze względu na brak korelacji sześć zmiennych musiało zostać pominiętych. Zmienne skorelowane i odrzucone przedstawione zostały poniżej:

- masa wymiennika pustego [kg],
- masa reszty aparatu [kg] (wkładu rurowego),
- powierzchnia wymiany ciepła [m²],
- ciśnienie obliczeniowe wkładu rurowego [kPa(g)],
- ciśnienie obliczeniowe przestrzeni międzyrurowej [kPa(g)],
- masa rur [kg],
- temperatura obliczeniowa wkładu rurowego [°C],
- temperatura obliczeniowa przestrzeni międzyrurowej [°C],
- pojemność wkładu rurowego [m³],

- pojemność przestrzeni międzyrurowej [m³],
- ciśnienie próbnego wkładu rurowego [kPa(g)],
- ciśnienie próbnego przestrzeni międzyrurowej [kPa(g)],
- liczba rur [szt.].

Ze względu na fakt, iż na etapie opracowywania koncepcji wyrobu brak jest dokładnie zdefiniowanego problemu w opracowanej aplikacji istnieje możliwość wyboru rodzaju parametrów opisujących nowy przypadek. W zależności od zakresu posiadanych informacji o projekcie można zdefiniować od dwóch do siedmiu parametrów wyrobu.

Kolejnym krokiem jest wyszukanie w bazie przypadków z przeszłości tego, który jest najbardziej podobny dla nowego problemu. Ze względu na różnorodność jednostek, w jakich wyrażone są parametry opisujące przypadki, wszystkie dane musiały zostać standaryzowane za pomocą przekształceń wyrażonych następującymi równaniami:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_{x_j}} \quad (1)$$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (2)$$

$$S_{x_j} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (3)$$

gdzie:

x_{ij} - empiryczna wartość j-tego miernika w i-tej jednostce,

\bar{x}_j - średnia arytmetyczna w rozkładzie miernika x_j ,

S_{x_j} - odchylenie standardowe w rozkładzie miernika x_j .

Spośród danych standaryzowanych następuje wyszukanie przypadku najbardziej podobnego przy użyciu miary Euklidesowej. W mierze tej przyjmuje się, że im mniejsza odległość problemu od przypadku w bazie tym bardziej problem ten jest podobny do przypadku. Odległość Euklidesowa wyznaczana jest z zależności:

$$d_{i0} = \sqrt{\sum_{j=1}^k (z_{ij} - z_{0j})^2} \quad (4)$$

Mając wyszukany przypadek najbardziej podobny do nowego problemu, możemy przeglądać wszystkie dane o przypadku z bazy. Wśród danych tych może być również wiedza typu „design rationale”, czyli wiedza projektantów wynikająca z ich doświadczenia. Do zbioru informacji o przypadku mogą być dołączone dodatkowe opisy szczególnych sytuacji projektowych, podejmowanych decyzjach i ich skutkach (zarówno negatywnych jak i pozytywnych), które pomogą w rozwiązaniu nowego problemu.

Kolejny etap to zastosowanie rozwiązania z przeszłości i dostosowanie go dla nowego problemu. W opracowanej metodzie zostało to rozwiązane w ten sposób, że zarówno dla wszystkich przypadków, jak i dla nowego problemu obliczany jest miara rozwoju, na podstawie miary rozwoju Hellwiga (wzór 5), a następnie przy użyciu dynamicznej funkcji liniowej obliczany jest całkowity koszt wytwarzania dla nowego projektu.

$$d_i = 1 - \frac{d_{i0}}{d_0} \quad i = 1, \dots, n \quad (5)$$

gdzie: $d_0 = \bar{d}_0 + 2s_d$

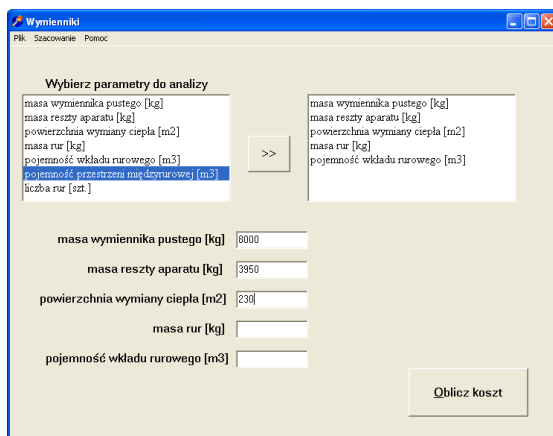
natomiast $\bar{d}_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{i0}$; $s_d = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_{i0} - \bar{d}_0)^2}$

d_i - taksonomiczna miara rozwoju

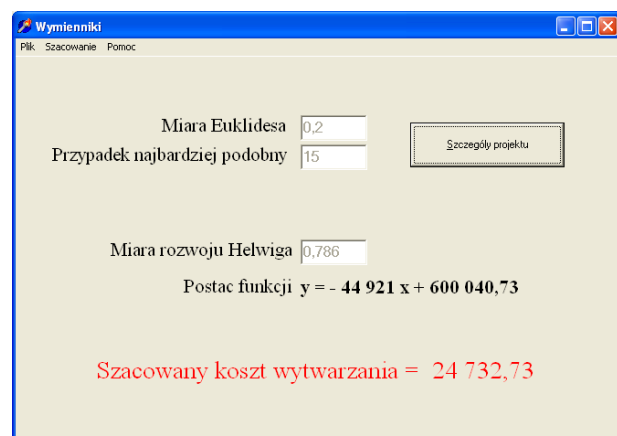
d_{i0} - odległość i-tej jednostki obserwacji od wzorca rozwoju

Zgodnie z założeniem metody CBR, każdy przypadek musi być zachowany w bazie danych. Opracowana metoda, a na jej podstawie aplikacja posiada taką funkcję. Przypadki zostają dopisywane do bazy danych po realizacji zlecenia, zawierają dane o rzeczywistych kosztach oraz szeroką wiedzę projektową. Umożliwia to coraz szerszą i dokładniejszą analizę.

W celu weryfikacji opracowanej metody zaprogramowana została aplikacja komputerowa, która umożliwia w szybki i łatwy sposób oszacować koszty wytwarzania. Na rys. 2 przedstawione jest okno wyboru parametrów, które chcemy zdefiniować, oraz miejsce wpisania parametrów nowego wyrobu. Po uzupełnieniu wszystkich danych, można przejść do kolejnego okna programu (rys. 3), w którym otrzymujemy oszacowany koszt. Przedstawiona jest również postać dynamicznej funkcji liniowej użytej do szacowania, która w zależności od danych może przyjąć różną postać.



Rys. 2. Okno wprowadzania danych dla metody CBR



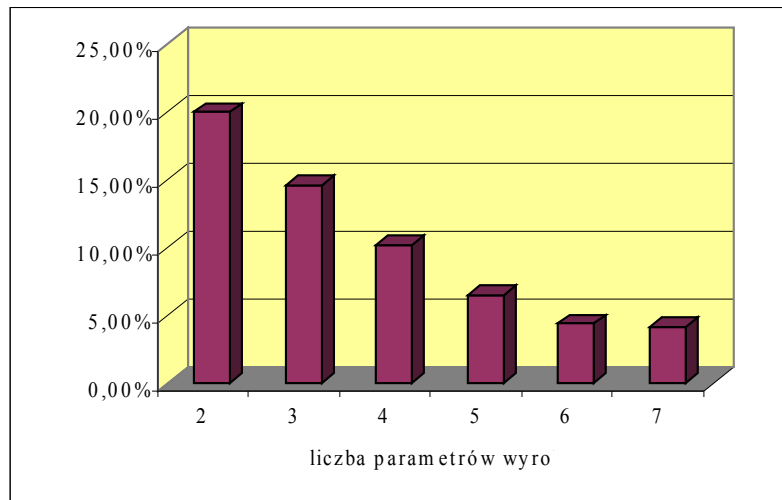
Rys. 3. Okno wynikowe metody CBR

3. Wnioski

Przeprowadzona analiza otrzymanych wyników pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- metoda CBR daje dobre wyniki oszacowań, których błędy kształtują się poniżej poziomu 20%, co jest górną - ogólnie przyjętą - granicą dla wartości szacowanych,
- metodę CBR charakteryzuje duża elastyczność, gdyż umożliwia szacowanie kosztów wytwarzania na podstawie od dwóch do siedmiu parametrów technicznych opisujących projekt, w zależności od tego, jakimi informacjami dysponujemy,

- metoda CBR ze względu na dynamiczną funkcję dopasowania, która uwzględnia nowe przypadki w bazie, daje za każdym kolejnym użyciem lepsze oszacowania,
- dokładność oszacowanych kosztów zwiększa się wraz ze wzrostem danych o nowym projekcie, średnie błędy oszacowań w zależności od zakresu danych przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Średnie błędy oszacowań w zależności od liczby zdefiniowanych parametrów

Podsumowując, można stwierdzić dużą przydatność i użyteczność metody CBR w szacowaniu kosztów wytwarzania w fazie koncepcyjnego przygotowania projektu.

Literatura

1. Barnuś B., Knosala R.: Komputerowa implementacja szacowania kosztów wytwarzania w procesie projektowania wyrobu. Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie (pod red. R. Knosali). Tom I. WNT, Warszawa, 2005, ss.22-30.
2. Barnuś B., Knosala R. Analiza porównawcza metod szacowania kosztów wytwarzania w fazie projektowania wyrobu. Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie (pod red. R. Knosali). Tom I. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2007, ss. 38-48.
3. Pokojski J. (praca zbiorowa pod red.): Zastosowanie metody case-based reasoning w projektowaniu maszyn. WNT, Warszawa, 2003.

CBR METHOD APPLICATION TO MANUFACTURING COST ESTIMATION AT THE DESIGN STAGE

Summary

The paper presents an outline of the methodology of technical preparation for production. Case Based Reasoning method was shown in relation to cost estimation at the design stage. The method itself was discussed along with an application which was created on its basis. An analysis of achieved results was carried out and the method usefulness was also evaluated in reference to estimating manufacturing costs.